生物生産施設環境(J. Bio. Fac. Env.)3(1) : 28~35, 1994

시설 재배 수박병 진단을 위한 전문가시스템의 개발

조성인* • 박은우** • 이강걸* • 김승찬*
*서울대학교 농업생명과학대학 농공학과
**서울대학교 농업생명과학대학 농생물학과

Development of an Expert System for Diagnosing Diseases of Watermelon Grown in Greenhouse

Cho, Seong In* • Park, Eun Woo** • Lee, Khang Keol* • Kim, Seung Chan*
*Dept. of Agr. Eng., Coll. of Agr. & Life Sciences, Seoul Nat'l Univ., Suwon 441-744
**Dept. of Agr. Bio., Coll. of Agr. & Life Sciences, Seoul Nat'l Univ., Suwon 441-744
Suwon 441-744

Summary

An expert system, Watermelon Disease Expert System (WDES), was developed in this study using HCLIPS which allows input and output in Korean. WDES could diagnose 8 diseases and 1 physiological disorder frequently occurring on watermelons grown in greenhouses. The knowledge base of WDES consisted of 35 'IF-THEN' rules and the forward chaining was used to make inferences. Help menu providing information on the nature of questions in text and image forms was included for users to answer questions without difficulty. Watermelon growers and researchers have validated the system and proved possibility of its practical use. In order to facilitate the practical use of WDES by watermelon growers, the knowledge base of WDES needs to be improved by including more detailed information on various diseases and disorders and restructuring rule bases.

키 워 드 : 전문가시스템, 수박병, 진단, 확신도
Key words : expert system, watermelon disease, diagnosis, certainty factor

서 론

일반적인 컴퓨터 데이타베이스는 각종 통계자료 및 정보를 필요한 사람에게 제공하지만 이 자료들의 활용이나 해석은 사람이 해야 한다. 즉 초기의 컴퓨터 데이타베이스는 주어진 자료나 정보로부터 새로운 정보를 창출하여 각 분야에서 상황 변화에 따른 중요한 결정을 하는데 필요한 조언을 할 수 있는 능력을 갖추지는 못하였다. 하지만 최근에 이러한 기능을 포함하는 새로운 정보시스템으로서 전문가시스템(knowledge-based system 또는 expert system)들이 각종 분야에서 개발되고 있다[4,6,7].

전문가시스템은 전문가의 경험적인 지식을 체계화하여 전문가를 대신하여 문제를 해결하는 데에 그 개발 목적이 있다. 따라서, 전문가시스템은 통상적인 데이타를 알고리즘에 의해 처리하는 컴퓨터 프로그램과 구별되어 경험적 지식을 획득하여 논리적으로 추론하는 기능이 발달되어 있다. 전문가시스템은 병의 진단과 같이 전문적인 지식과 많

은 경험이 결합되어야 유기적인 추론이 가능한 분야에서 적절한 것으로서 80년대 초 상업적인 전문가시스템이 첫선을 보인 이래 과학, 공학, 경영 등 경험적인 지식으로 애매한 정보를 취급해야 하는 분야에서 각광받고 있다.

농업 분야의 전문가시스템의 경우 국내에서는 아직 소개되는 수준이나 국외에서는 다양하게 응용되어 실용화되고 있다[2,3,6,12,13]. Michalski 등[13]은 콩 병해 진단에 대한 전문가시스템인 PLANT/ds를 개발하였고, Donohue 등[3]은 담배의 병해를 진단하고 그에 따른 살균제의 살포량, 살포 방법에 대한 전문가시스템을 개발하였다. Latin 등[12]이 개발한 멜론병 전문가시스템에서는 병해 진단과 살균제 사용 방법을 제시하고, 병해 피해에 따른 예상 피해액을 산출한다. 피해가 그리 크지 않을 것 같은 경우에는 살균제의 양을 줄이거나 살균제를 사용치 말라는 결론을 내린다. 국내에서는 이 등[15]이 수행한 '식물병 임상진단 전산화 개발 이용 연구'에서 75개 작물(화곡류 8종, 화훼류 60종, 과수류 7종)에 발생하는 268개 병에 대한 검색 조건과 검색 코드를 작성하고 BASIC언어를 사용하여 병해임상진단 전산화 프로그램을 개발하였으나 전문가시스템 개발로는 연결되지 못하였다.

농업 생산은 생물적 또는 비생물적 요인들 간에 존재하는 복잡한 상호작용에 의존하는 생산 시스템이다. 따라서 농업 생산 과정에서 생산물의 질과 양을 극대화시키기 위한 각종 관리 방법 및 시기 등에 대한 판단이 어려운 경우가 자주 있다. 예컨데 작물의 경우 나타나는 각종 병은 작물-환경-병원균의 상호작용에 의하여 발생되므로 발생 부위와 생육 시기, 환경 조건, 병원균의 병원성 변이 등에 의하여 나타나는 병징의 모습과 피해 양상이 달라질 수 있다. 작물재배자의 입장에서는 특정 병이 발생될 경우 병의 진단과 방제 방법 등에 대한 판단이 대단히 어렵고, 많은 경우 전문가의 도움을 필요로 한다. 이러한 경우에 작물병 진단 및 관리용 전문가시스템이 제공된다면 필요한 정보를 수시로 얻어 작물관리 작업에 활용할 수 있을 것이다. 최근 수박의 시설 재배가 농가의 새로운 고소득 원으로서 각광을 받고 있는 데, 본 연구는 시설 재배 수박의 병진단을 위한 전문가시스템을 개발하여 경험이 적은 수박재배자라도 조기에 병을 발견하여 필요한 조치를 취함으로써 수박의 시설 재배 관리 작업에 유용하게 활용할 수 있도록 함을 그 목적으로 한다.

재료 및 방법

전문가시스템을 구성하기 위해서는 LISP나 PROLOG같은 인공지능 언어로서 직접 프로그래밍 하는 방법과 ART, KEE, KES, MI, OPS, XSYS, CLIPS 등과 같은 전문가시스템 개발도구를 이용하는 방법이 있다[4,5,7]. 전자의 방법은 추론기관 및 사용자 인터페이스 등의 모든 전문가시스템의 기능을 개발자가 목적에 맞게 직접 개발할 수 있음에 반하여, 전문가의 지식을 체계화하여 알맞게 규칙화하는 과정보다 다른 기능을 개발하는 데 시간과 노력을 더 들이게 된다. 따라서 현재는 개발하려는 전문가시스템에 알맞은 추론기관과 지원환경을 구비한 전문적인 개발 도구를 사용하는 후자의 경우가 일반화되어 있다.

본 연구에서는 전문가시스템 개발도구인 CLIPS[17,18]에 한글 입출력 기능과 사용상의 편의 기능을 부가한 HCLIPS[1]를 사용하여 시설 재배용 수박(*Ditrullus vulgaris* Schard)에 발생하는 주요 병들을 진단할 수 있는 전문가시스템(Watermelon Disease Expert System;WDES)을 개발하였다.

1. 수박병 지식 획득

전문가시스템은 일반적으로 영역전문가(domain expert)와 지식공학자(knowledge engineer)들로 구성된 학제간 협력 연구팀에 의하여 고안되고, 실사용자에 의하여 실용성이 평가되어야 한다. Fig. 1은 전문가시스템을 개발하기 위한 전반적인 작업 과정을 나타내는데, 본 연구에서는 식물병리학자와 농공학자로 구성된 협력 연구팀이 영역전문가와 지식공학자 역할을 수행하였으며, 10년 이상 수박 시설 재배 경험을 갖고 있는 재배자 3명(우용구, 정상현-경북 선산군 고아면; 한상민-경기도 수원시 근교)이 WDES의 경험적 지식을 제공하고 실용성 및 타당성을 평가하였다.

WDES는 국내 수박 재배자들이 가장 문제시하

고 있는 9가지 병증상에 대한 지식 베이스를 갖추었다. 수박 재배 현장 관찰과 재배자들과의 면담 결과 이 증상들은 진균에 의하여 발생되는 덩굴마름병(*Didymella bryoniae*), 역병(*Phytophthora capsici*), 탄저병(*Colletotrichum lagenarium*), 균핵병(Sclerotinia sclerotiorum), 흰가루병(Sphaerotheca fuliginea), 덩굴쪼김병(Fusarium oxysporum F. sp. *niveum*)과 몇가지 바이러스에 의한 모자이크병, 그리고 세균에 의한 갈색부패병(*Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli*)과 영양생리장해로 생각되는 급성위조 증상이다. 지식 베이스 구축에 활용된 자료는 재배자들이 육안으로 구분하여 판단할 수 있는 증상들을 중심으로 몇가지 문헌[8~11,14,16]들에서 수집하여 증상과 병과의 관계를 체계적으로 정리한 후에, 3인의 수박 재배 전문가들과 면담을 통하여 경험적인 확신도를 부여받아 지식베이스를 최종적으로 구축하였다.

Table 1은 수박병 진단을 위한 지식 베이스 구축에 사용된 원시 자료이다. 여기서 세로축의 증상 또는 항목에 대하여 각 병의 특성으로 판단할 수 있는 확신도를 전문가들로부터 부여받아 평균을 구한 후 Table 1에 표시된 바와 같이 4단계로 분류하여 기호로 구분하였다. 식물병리학자 및 수박 재배자와 같은 영역전문가들로부터 이러한 경험적 지식의 확신도가 추출되어 진다. 또한 경험이 풍부한 재배자는 몇가지의 특징적인 증상만을 가지고도 정확한 병진단을 할 수 있을 것이다. 실제 전문가들과 면담한 결과, 전문가들은 각 병의 특징적인 증상이 관찰될 경우에는 확신도를 높게 하고, 명확한 증상이 아니라 여러 가지 병에서도 관찰될 수 있는 증상일 경우 확신도를 상대적으로 낮추어 부여하였다. 따라서, 전문가의 상황판단에 존재하는 경험적 지식을 확신도 수준으로 도입함으로써 WDES가 병진단을 위해 전문가처럼 추론할 수 있도록 하였다. 전문가시스템의 성능을 결정하는 요인 중의 하나는 이러한 경험적인 지식의 확신도의 할당에 있다고 할 수 있다.

2. WDES의 구성

수박병진단 전문가 시스템인 WDES는 Table 1로부터 구축되어진 지식베이스와 추론기관과 사용

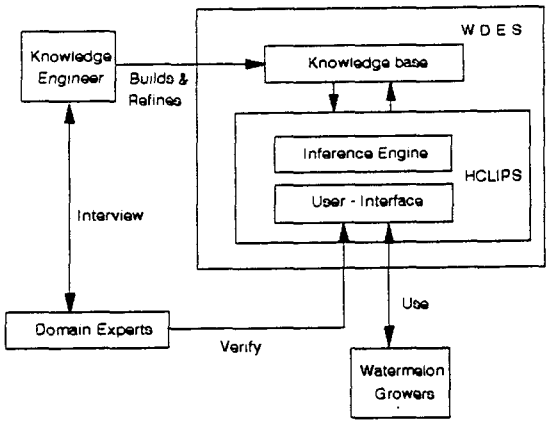

Fig. 1. Development procedure of the expert system WDES.

자인터페이스 기능을 갖는 HCLIPS[1]로 되어 있다. HCLIPS는 전문가시스템의 개발 도구는 CLIPS[17,18]에 한글 입출력 기능을 포함한 다양한 인터페이스 기능이 추가되어졌다. CLIPS는 미국 NASA, Johnson Space Center의 인공지능 연구팀이 개발한 것으로 공개된 소프트웨어이다. CLIPS는 추론기관을 갖춘 범용 전문가시스템 개발 도구로서 기본적으로 LISP[5]와 비슷한 명령 체계와 순방향 추론(forward chaining)방식을 위주로 하여, 역방향 추론(backward chaining)도 가능한 추론기관(inference engine)을 채택하고 있다. CLIPS는 컴퓨터 기종에 관계없이 실행이 가능하며, 공개되었다는 점 때문에 누구나 소유할 수 있어 보급이 편리한 장점이 있다.

수박병 진단에 필요한 지식베이스는 Table 1의 지식으로부터 IF(조건부)-THEN(결론부) 규칙 형식으로 구축되어졌다. 하나의 규칙이 추론과정에 적용되기 위해서는 IF의 조건부를 만족시켜야 한다. 즉, 조건부에 해당하는 사실들이 사용자의 답변을 통하여 작업 메모리에 입력되면 결론부에 해당하는 조치가 취해진다. WDES의 지식베이스는 35개의 규칙으로 구성되었으며 실제로 HCLIPS를 이용하여 지식베이스에 작성되는 규칙의 프로그램 형태는 Fig. 2와 같다. 규칙 6, 19는 각 덩굴쪼김병, 갈색부패병을 확신도 100%, 80%로 진단하는 것이다. 규칙 13은 두개의 조건부 즉 발생부위가 줄기이거나 잎이고("발생부위" "줄기" | "잎") 갈색부정형의 색깔과 모양의 병반이면

Table 1. Preliminary working sheet for constructing the knowledge base of WDES*.

			Black rot	Phytophthora bright	Anthrac nose	Sclerot inia rot	Powdery mildew	Mosaic viruses	Fusarium wilt	Bacterial blotch rot	Sudden wilting
Plant Part	leaf		◉	◉	●	◉	●	●	◎	◎	●
	stem		●	◉	●	●	◉	◎	●	◎	●
	root		◎	○		◎			◉	◎	●
	fruit			●	◉	◎		◉	○	●	●
Growth stage	seedling stage			◎	◉				○		
	flower stage		●	●	●		◉	●	●		●
	development stage		◉	◉	○	●	◎	●	○	◎	●
	maturity stage		◉	●	●	○	◎	●		●	◎
Symptom	leaf wilt		◉	○		◎	○		◉	○	●
	ooze secretion		◉	○		●			◉		
	lesion	part	crown of stem, leaf	stem, leaf, fruit	stem, leaf, fruit	stem, leaf, fruit		leaf, fruit		stem, leaf, fruit	
		color	brown	reddish brown	dark brown	white, brown		mosaic		ashy green	
		shape	amorphous	amorphous	concentric	water-soaked		malformation		amorphous	
			◎	◉	●	●		●		◉	
	vascular browning in stem								●		
	wither to death (stem)		◎	◎	◎	◎	○		◎	◎	◉
	fruit rot			●	◉	◎				●	
	hyphae (leaf, stem, fruit)			◉		◉				◎	
	white powder						●				
Root stock	pumpkin		◉		◉				◉		◎
	gourd		◎		●				◎		●
	others		●		◎				●		
Envir-onment	high temp. high moisture		○	○	○		○		○	◎	
	high temp. low moisture						◎				
	low temp.		○			◎					

*: Certainty factor ○;40-55% ◎;55-70% ◉;70-85% ●;85-100%

("잎-색깔및모양" | "줄기-색깔및모양" "갈색부정형"), 덩굴마름병을 잠정적으로 진단(확신도=60%)하고 좀 더 정확한 추론을 위한 질문을 수행하기 위해 3가지의 인자를 추가하고 있다. 추가된 인자에 상응하는 3가지 질문에 대한 사용자의 대답에 따라 덩굴마름병의 확신도는 높아지거나 낮아지게 된다.

```
(defrule rule-6)
  ("발생부위""줄기")
  ("줄기-증상""줄기를 가르면 내부 도관 갈변")
  →
  (assert("병""덩굴쪼김병"cf 100=(gensym) )))
(defrule rule-13
  ("발생부위""줄기" | "잎")
  ("잎-색깔및모양" | "줄기-색깔및모양""갈색부정형")
  →
  (assert("병""덩굴마름병" cf 60=(gensym)))
  (assert("갈색병반-바늘귀모양흑점"
        "질문내용""갈색병반위에 바늘귀 모양의 작은 흑점이 있습니까?"
        "예상되는답""예""아니오"
        "답의형태""단답"
        "예상되는수치범위"
        "도움말""도움그림""질문이유"))
    (assert("방추형병반"
          "질문내용""줄기에 갈색의 움푹 패인 방추형 병반입니까?"
          "예상되는답""예""아니오"
          "답의형태""단답"
          "예상되는수치범위"
          "도움말""도움그림""질문이유"))
    (assert("줄기지제부"
          "질문내용""줄기지제부의 접목부위에 병반이 생성되었고 가끔씩 진물이 나기도 합니까?"
          "예상되는답""예""아니오"
          "답의형태""단답"
          "예상되는수치범위"
          "도움말""도움그림""질문이유")))
  (defrule rule-19
    ("발생부위""잎" | "과일")
    ("잎-색깔및모양" | "과일-색깔및모양""부정형회녹색")
    →
    (assert("병""갈색부패병" cf 80 =(gensym) )))
```

Fig. 2. Parts of rules in the WDES knowledge base.

Fig. 2의 각 규칙에 있는 "cf 100=(gensym)", "cf 60=(gensym)", "cf 80=(gensym)"이라고 한 부분은 확신도를 나타낸다. 전문가시스템에서 확신도는 각각의 사실들에 경험적 확신을 부여하는 중요한 개념이다. 확신도는 정보의 유용성을 나타내는 척도로서 WDES에서는 -100에서 100사이의 값을 확신도로 표시했으며 숫자가 높을수록 높은 확신도를 가진다. 확신도는 규칙들이 적용될 때마다 새로 계산되어 지는 데 본 연구에서 확신도의 계산은 MYCIN 전문가시스템[20]에서 사용한 다음과 같은 계산법을 이용하였다.

CF=CF(OLD)+(CF(NEW)*(100-CF(OLD))/100)

여기에서, CF:새로 계산되는 확신도
CF(OLD):이전의 확신도
CF(NEW):현재의 확신도

지식베이스를 구축하는 과정에서 질문의 순서를 결정해야 하는데, 이 순서는 WDES의 추론과정을 결정한다. 따라서, WDES의 추론과정은 수박병에 대하여 전문적인 지식을 갖고 있는 영역전문가가 문제해결에 사용하는 논리적 추론과정과 동일해야 한다. Fig. 3에 제시된 질문 과정은 WDES에서 수행되는 추론과정을 나타낸다. 즉 온실 내의 환경조건, 생육시기, 대목 등에 대한 질문을 통하여 병 발생과 관련이 있는 주변상황에 대하여 먼저 판단을 하고, 병이 발생한 부위에 따라 증상에 대한 다양한 질문을 하면서 결론에 도달할 때까지 순방향 추론을 계속한다. 결론에 도달하게 되면 질문을 끝내고 결론에 대한 확신도와 함께 병진단에 대한 결론을 출력한다.

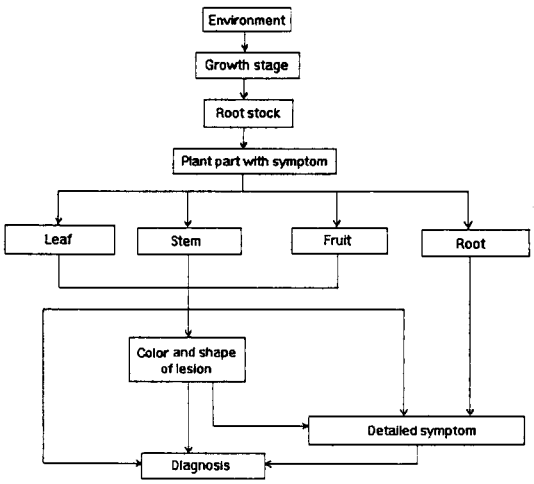

Fig. 3. Block diagram of question process.

결과 및 고찰

WDES는 IBM-PC AT급 이상의 컴퓨터에서 실행 가능하도록 되어 있으며 하이텔이나 천리안과 같은 PC통신망에도 연결될 수 있다. WDES를 실행하게 되면 Fig. 4와 같은 초기 화면이 먼저 나타난다. Fig. 5는 질문 수행 과정에서 볼 수 있는 생육시기에 관한 질문과 답변선택항에 관한 도움말 화면이다. F1을 누르면 도움말 화면에 질문이나 답변선택항에 관련된 설명이 나타나 사용자가 질문에 쉽게 답하도록 도와준다. 질문 수행 중에 F2를 누르면 Fig. 6과 같이 질문에 해당하는 도움그림이 질문과 함께 출력되어 사용자의 질문에 대한 이해를 도와준다. 사용자가 대답한 답변에 따라 WDES는 추론과정을 거쳐 Fig. 7과 같은 추론결과로 얻은 결론을 보여준다. 진단결과에 대한 확신도에 따라 결론을 3가지의 문장으로 표현하였다. 확신도 70~80%인 경우는 "--에 조심하십시오.", 확신도 80~90%인 경우는 "--에 걸렸을 확률이 높습니다.", 확신도 90%이상인 경우는 "--에 걸렸습니다."라고 출력하도록 하였다. 병진단과 함께 결론부에서는 진단한 병에 따른 처방 대책도 함께 제시하였다. 처방대책은 주로 약제의 종류 및 사용요령, 기타 후속조치 등에 관한 것이다.

본 연구는 전문가시스템을 국내에서는 처음으로 식물병 진단에 응용한 것이다. 특히 한글용 전문가시스템 개발도구를 사용하고, 사진자료를 이용한 도움그림, 도움말, 질문이유 등의 도움자료를 사용자가 쉽게 활용할 수 있도록 하여 국내에서 식물병 진단용 전문가시스템의 실용화 가능성을 제시하였다. 본 연구와 유사한 예로서 이 등[15]이 연구한 '식물병 임상진단 전산화 프로그램'은 다양한 작물병들에 대한 컴퓨터 데이타베이스이지만 자체적인 추론기능을 갖고 있지 않으므로 전문가시스템이라고 말할 수 없다.

WDES의 지식베이스는 9종의 병증상에 대하여 일반 재배자들이 육안으로 구분할 수 있는 증상들과 쉽게 판단할 수 있는 상황만을 체계적으로 정리한 것이다. 실제 수박재배지에서는 같은 병이 재배자에 따라서 다른 이름으로 불리우기도 하며 영양결핍 및 생리적 장애로 일어나는 증상과 혼돈되는 경우가 발생되고 있으므로 WDES가 실용적으로 사용되기 위해서는 각종 병증상 및 생리장해들에 대하여 좀더 세부적인 특징을 파악하여 지식베이스를 보완해야 한다.

WDES를 이용한 진단결과의 타당성과 WDES가 장차 실용적으로 사용되기 위하여 필요한 보완사항을 파악하기 위하여 앞에서 언급한 재배자들 이외에 현재 서울대학교 최고농업경영자과정에서 수료 중인 수박재배자와 농촌진흥청 원예시험장의 수박 연구담당자 등에게 WDES의 진단에 대한 의

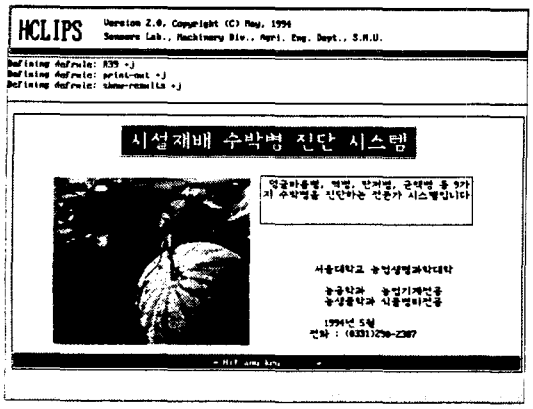

Fig. 4. Execution process of WDES(initial title).

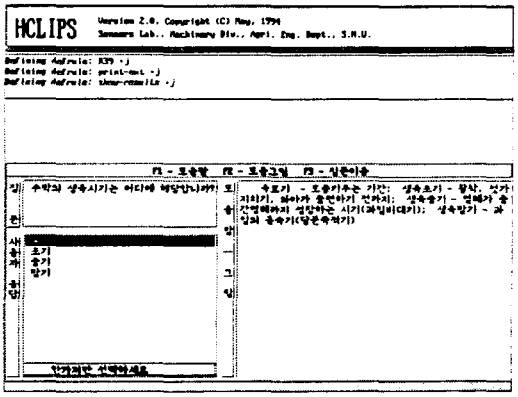

Fig. 5. Execution process of WDES(question with help message).

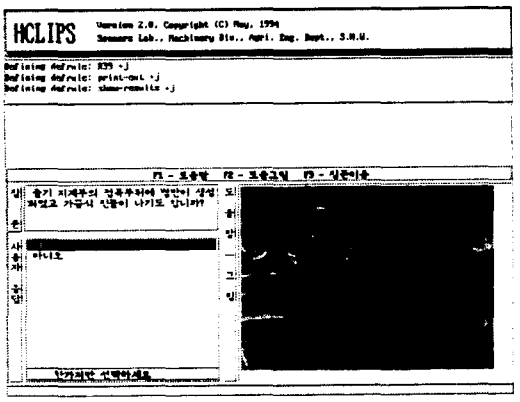

Fig. 6. Execution process of WDES(question and help picture).

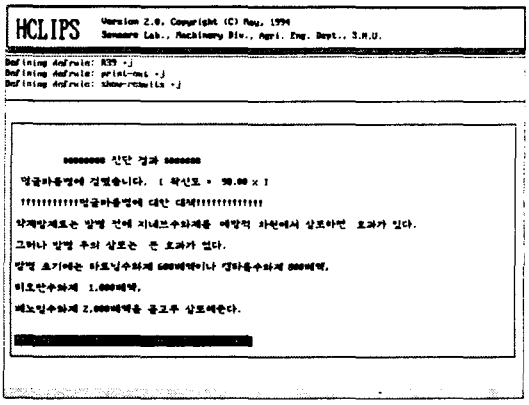

Fig. 7. Execution process of WDES(result).

견을 조회한 결과, WDES의 수박병 진단결론에 대한 타당성을 인정받았다. 즉 검증자들이 WDES를 실행하여 본 결과 예상되는 병과 WDES 진단결과 제시된 병이 모두 일치하였으나 추론 결과 제시된 확신도 값에 대해서는 검증자에 따라 소폭의 차이(15% 이내)가 있는 경우가 있었다. 이는 경험의 차이에서 오는 결과로 생각된다. 또한, WDES와 같이 주요 농작물에 발생하는 병 증상에 관한 전문가시스템들의 개발 필요성을 확인할 수 있었다. 한편 개선되어야 할 사항으로서 결론에 도달하였을 때 진단된 병이 일어난 이유를 상세히 출력하는 기능이 포함된다면 사용자가 해당 병이 다시 발생되지 않도록 예방하는 데 도움이 될 것이라는 의견이 있었다.

적 요

본 연구에서는 시설 재배 수박에 자주 발생하는 8가지 병과 1가지 생리장해 증상을 진단할 수 있는 수박병 진단용 전문가시스템인 WDES를 개발하였다. 사용된 전문가시스템 개발도구로 HCLIPS를 사용하여 한글 입출력이 가능하게 하였다. WDES의 지식베이스는 35개 IF-THEN 형식의 규칙으로 구성되었으며 추론과정은 순방향 추론방식을 채택하였다. 질문 문항별로 도움말, 도움그림, 질문이유 등의 도움기능을 포함시켜 사용자가

질문 문항에 대한 답변을 쉽게 할 수 있도록 하였다. 수박재배자와 전문연구자들이 WDES를 사용해 본 결과 WDES의 타당성과 실용가능성을 인정할 수 있었다. 실제 수박밭에서는 다양한 종류의 병과 생리적 장해가 함께 발생되고 있으므로 WDES가 실용적으로 사용되기 위해서는 각종 병 증상들에 대하여 좀더 세부적인 특징을 파악하여 지식베이스 내의 규칙을 보완해야 한다.

인용문헌

1. 조성인, 김승찬. 1993. CLIPS를 사용한 한글 전문가시스템을 위한 사용자 인터페이스의 개발. 한국농업기계학회지 18(2):133-143
2. Cooley, D. R., Ward, K., Gruder, T., and Cohen, P. 1988. Development of a microcomputer-based expert system for apple scab management. Proc. 2nd International Conf. on Computers in Agricultural Extension Programs. 1: 230~233.
3. Donohue, D. W., Sowell, R. S., and Powell, N. T. 1988. An expert system for diagnosing disease of tobacco. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. Paper no. 88-5022.
4. Giarratano, J. C. and Riley, G. D. 1989. Expert Systems:Principles and Programming. PWS-KENT Publ. Co.
5. Harrison, Patrick R. 1990. Common LISP and Artificial Intelligence. Prentice-Hall International Editions.
6. Holt, D. A. 1989. The growing potential of expert systems in agriculture. in:Knowledge Engineering in Agriculture. J. R. Barrett and D. D. Jones:1-11. American Society of Agricultural Engineers.
7. Huggins, Larry F., John R. Barrett and Don D. Jones. 1986. Expert Systems:Concepts and Opportunities. J. of Agricultural Engineering 67 (1):21-23.
8. 지형진, 김병수, 서순남, 조의규, 이은종. 1990. *Pseudomonas* sp.에 의한 수박 세균성 점무늬병. 한국식물병리학회지 6:237-244.
9. 김병수, 손은영. 1991. *Phytophthora dreshsleri* Tucker에 의한 수박 역병. 한국식물병리학회지 7:48-51.
10. 한국식물병리학회. 1986. 한국식물병해충잡초명감.
11. Kunihei Kishi. 1988. Dictionary of Crop Diseases. Zenkoku Noson Kyoiku Kyokai Co.
12. Latin, R. X., Miles, G. E., Rettinger, J. C., and Mitchell, J. R. 1990. An expert system for diagnosing muskmelon disorders. Plant Dis. 74: 83-87.
13. Michalski, R. S., Davis, J. H., Bisht, V. S. and Sinclair, J. B. 1983. A computer-based advisory system for diagnosing soybean disease in Illinois. Plant Dis. 67:459-463.
14. 이기운, 이봉춘, 박호철, 이용수. 1990. 한국에서 수박에 발생한 오이 녹반 모자이크 바이러스병에 대하여. 한국식물병리학회지 6:250-255.
15. 이영희, 조원대, 김완규, 명인식, 진경식, 김유학, 한혜림, 조미나. 1992. 식물병 임상진단 전산화 개발 이용 연구. 과기처 특정과제.
16. 박상근, 김병수, 정범윤. 1987. 시설 채소의 생리 장해와 병해 진단. 서울 종묘 출판부.
17. Software Technology Branch, Lyndon B. Johnson Space Center(NASA). 1991. CLIPS Reference Manual Vol. I,II. COSMIC, Athens, GA, USA.
18. Software Technology Branch, Lyndon B. Johnson Space Center(NASA). 1991. CLIPS User's Guide. COSMIC, Athens, GA, USA.
19. Song, W. Y., Kim, H. M., So, I. Y., and Kang, Y. K. 1991. *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli*:the causal agent of bacterial fruit rot on watermelon. Korean J. Plant Pathol. 7:177-182.
20. Shortliffe, E. H. 1976. Computer Based Medical Consultation, MYCIN. Elsevier, New York, USA.